

RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DE EFETIVIDADE

Avaliação de efeitos locais da construção de usinas eólicas nos municípios brasileiros

NÚMERO 1 | 2019



*O banco nacional
do desenvolvimento*

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL

RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DE EFETIVIDADE

| 1 |

Avaliação de efeitos locais da construção de usinas eólicas nos municípios brasileiros

Área de Planejamento

Departamento de Avaliação e Promoção da Efetividade

Equipe técnica

Ricardo Agostini Martini

Marília de Figueiredo Jordão

Daniel Grimaldi

Chefe de departamento

Victor Dias

Sumário

Resumo executivo.....	3
1. Panorama da energia eólica no Brasil	6
1.1. Conceitos e análise descritiva	6
1.2. Revisão da literatura empírica	12
2. A avaliação de impacto	15
2.1. Base de dados.....	15
2.2. Estatísticas descritivas e análise exploratória dos dados	19
2.3. Controle sintético	25
2.4. AdaLASSO – método de seleção de covariadas	30
2.5. Resultados.....	34
3. Considerações sobre a avaliação	42
3.1. Considerações do Departamento de Avaliação e Promoção da Efetividade do BNDES.....	42
3.2. Considerações do Departamento de Energia Elétrica 2 do BNDES.....	44
Referências	45
Apêndice	48

Resumo executivo

A energia eólica, em relação a outras fontes de energia, conta com uma série de vantagens. Uma delas é tratar-se de uma fonte de energia renovável e limpa. Além disso, não produz resíduos ao gerar eletricidade. Também se deve destacar que a fonte é considerada inesgotável e que não há custos associados à obtenção de uma matéria-prima, assim como há baixos riscos ambientais envolvidos na construção de suas usinas. Há estudos que procuram analisar a importância da introdução de energias renováveis em nível local. Pelo fato de poder coexistir com outras atividades ligadas ao uso da terra, os parques eólicos podem ajudar o desenvolvimento econômico de regiões agrícolas, aumentando a qualidade de vida e reduzindo desigualdades sociais. Ou seja, em razão dos arrendamentos de terras para a instalação de torres eólicas, o investimento em energia eólica pode estar associado ao aumento de renda dos pequenos proprietários de terras no interior do Brasil.

O presente trabalho tem o objetivo de verificar possíveis impactos da política de construção de usinas eólicas nas economias municipais. Mais especificamente, pretende-se aqui analisar a evolução do produto interno bruto (PIB) *per capita* dos municípios que receberam investimentos na construção de usinas eólicas em comparação a um grupo de outros municípios com características semelhantes, mas que não recebeu essa intervenção. O período coberto pela avaliação vai de 2007 a 2014, pela maior disponibilidade de dados nesse período.

Para que os resultados estimados no exercício empírico possam ser expandidos para uma análise da política efetuada, é necessário que as estimativas obtidas por essa técnica permitam inferências estatísticas confiáveis. Isto é, é preciso que se tenha confiança de que os resultados obtidos para a amostra refletem o efeito da intervenção para a população. Para isso, é fundamental que a amostra de unidades tratadas tenha um volume apropriado. Esse ponto é sensível para muitas intervenções públicas, por exemplo, para o caso do impacto local, em nível geográfico, das grandes obras de infraestrutura. Nesse sentido, este texto apresenta uma metodologia

adequada para os casos em que as intervenções atingem um número pequeno de unidades. Essa metodologia é a estimação por controle sintético, a qual procura comparar cada unidade tratada com uma unidade artificial de controle, que consiste em uma média ponderada de todas as unidades elegíveis para comparação disponíveis na base de dados.¹

O método do controle sintético foi aplicado para cada município beneficiado pela construção de parques eólicos, somando 37 avaliações individuais, que foram então compiladas e analisadas de maneira agregada. Os resultados obtidos mostraram-se heterogêneos, mas com efeitos medianos positivos, concordando com a bibliografia levantada. Os efeitos compilados são mais favoráveis em dois anos depois das construções e em parques eólicos com investimentos mais elevados.

Este estudo utilizou uma base de dados municipais construída como uma consolidação de 250 variáveis quantitativas provenientes de 12 fontes diferentes. Essas fontes são:

- o Sistema de Informações sobre Mortalidade (SIM), do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (Datasus);
- o Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (Cnes), também do Datasus;
- o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE);
- informações da Estatística Bancária por Município (Estban), do Banco Central do Brasil – BCB (2015);
- dados da Secretaria de Comércio Exterior – Secex (2016), órgão do então Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (Mdic);
- informações do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe);

¹ Essa metodologia também é aplicada, por exemplo, em Abadie e Gardeazabal (2003) e Abadie, Diamond e Hainmueller (2010; 2011; 2015).

- a Relação Anual de Informações Sociais (Rais), do então Ministério do Trabalho e Emprego;
- informações financeiras dos municípios, por meio do Finanças do Brasil (FinBra), banco de dados criado pela Secretaria do Tesouro Nacional (STN), em convênio com a Caixa Econômica Federal (CEF);
- o Censo Escolar, do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas – Inep (2015);
- o Censo do Ensino Superior, também do Inep (2014);
- o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (Snis), da Secretaria Nacional de Saneamento (SNS); e
- uma série de variáveis derivadas construídas com o cruzamento dessas variáveis brutas.

Além das bases em nível municipal, o banco de dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) forneceu informações sobre os valores de potência outorgada para todas as usinas eólicas avaliadas, assim como o ano de construção e o município em que está localizado o parque eólico. Para reduzir a dimensionalidade do modelo utilizado no presente exercício empírico, de modo a selecionar as variáveis explicativas mais relevantes em relação à variável de interesse, foi utilizada uma metodologia de seleção de variáveis denominada LASSO Adaptativo, ou adaLASSO. Em resumo, essa metodologia introduz uma penalização sobre a soma dos coeficientes estimados, de modo a reduzir a complexidade do modelo e seu custo em aspectos computacionais.

O trabalho está organizado da maneira descrita a seguir. Este resumo executivo é seguido por uma descrição sobre o panorama da energia eólica no Brasil, com base em dados da Aneel (2017), que inclui uma revisão da bibliografia sobre seus impactos em nível local. Depois disso, é descrita a base de dados consolidada, assim como as principais informações de suas fontes. A metodologia é apresentada na sequência e abrange a exposição dos modelos teóricos da estimação por controle sintético e do método adaLASSO de seleção de variáveis de controle. Na continuidade, expõem-se os resultados

das estimações individuais compiladas. Por fim, incluem-se as considerações finais do trabalho e alguns possíveis desdobramentos futuros dessa linha de pesquisa.

1. Panorama da energia eólica no Brasil²

1.1. Conceitos e análise descritiva

Conceitualmente, pode-se entender um parque eólico ou usina eólica como um conjunto de moinhos de vento ou turbinas usados para gerar energia elétrica por meio de seus aerogeradores, que são empurrados pelo vento. As turbinas destinam-se a transformar energia eólica em elétrica. A principal vantagem da energia eólica em relação a outras fontes é que se trata de uma fonte de energia renovável e limpa, pois não emite os gases de efeito estufa que contribuem para o aquecimento global. Além disso, não produz resíduos ao gerar eletricidade. Destaca-se, também, que a fonte é considerada inesgotável e que não há custos associados à obtenção de uma matéria-prima, diferentemente do que ocorre com combustíveis fósseis, e, ainda, que, em comparação a usinas hidrelétricas e nucleares, por exemplo, os riscos ambientais são baixos (COSTA; CASOTTI; AZEVEDO, 2009).

Atualmente, a maior fonte energética do Brasil advém de usinas hidrelétricas. Apesar de sua produção não poluente e barata, essa dependência pode acarretar danos. Isso porque, diante de períodos de seca, os reservatórios de água podem esvaziar e surge a necessidade de pôr em funcionamento usinas termelétricas, caras e poluentes. Para que o gargalo de energia seja solucionado, investimentos em energia alternativa tornam-se essenciais. O Brasil tem um dos maiores volumes de vento do mundo, assim como baixa probabilidade de ocorrência de fenômenos climáticos extremos, de modo que o país conta com possibilidades concretas de ampliar seu uso de energia eólica. Segundo o *Atlas do Potencial Eólico Brasileiro* (AMARANTE; ZACK; SÁ, 2001),

² Esta seção está alinhada ao *mainstream* da teoria econômica. Para um debate conceitual sobre teoria econômica ortodoxa, heterodoxa, neoclássica e *mainstream*, ver Dequech (2007). Essa escolha resulta do entendimento de que uma avaliação de impacto deve se pautar no que existe de mais consensual possível em termos teóricos.

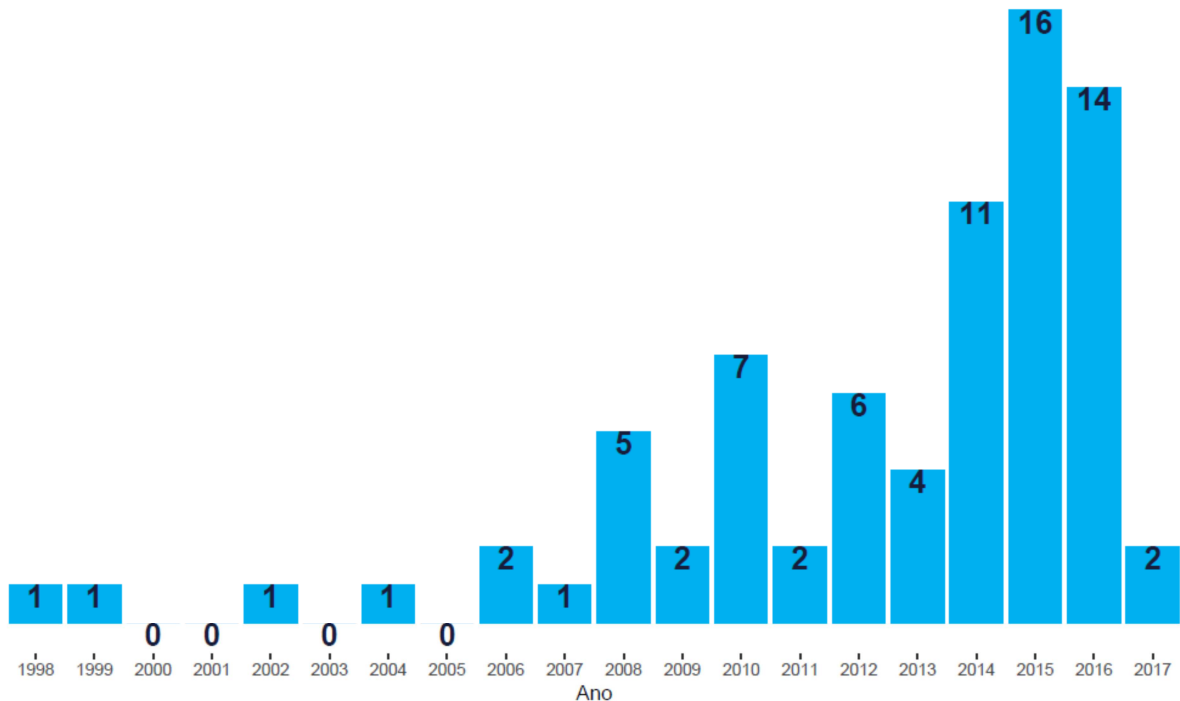
o território nacional apresenta ventos com potencial que proporcionaria o equivalente a 272 terawatt-hora (TWh) por ano, o que representa aproximadamente 64% do consumo nacional de energia elétrica, que é de cerca de 424 TWh/ano.

O Brasil, nos últimos anos, vem acelerando a implantação de parques eólicos. Atualmente, 14 estados produzem energia elétrica por meio de usinas eólicas. Até 2014, a quantidade de energia eólica produzida era de 4 TWh/ano; e o país iniciou o mês de fevereiro de 2018 com capacidade instalada de 12,95 gigawatt (GW), 8,3% na matriz elétrica total do país (ABEEÓLICA, 2018). Nesse mês, havia ainda 4,8 GW de capacidade em construção.

Os incentivos ao setor de energia eólica no Brasil iniciaram-se no ano de 2002, por meio do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa). Os investimentos são realizados por meio de leilões especificamente para a geração de eólicas, e também para outras fontes de energias alternativas, por serem pouco competitivas em relação às fontes tradicionais (hidrelétrica, gás natural, óleo combustível etc.) (LAGE; PROCESSI, 2013). O BNDES apoia o setor de energia eólica com linhas especiais de financiamento para empresas do segmento de geração, transmissão e distribuição de energia. Para os fabricantes de componentes de aerogeradores, o Banco disponibiliza dois produtos: (i) o BNDES Finem, que visa apoiar investimentos em aumento da capacidade e da construção de novas plantas; e (ii) o BNDES Finame, que visa financiar a venda de máquinas e equipamentos já negociados com as respectivas compradoras (COSTA; CASOTTI; AZEVEDO, 2009).

O Gráfico 1 exibe o número de municípios brasileiros que receberam suas primeiras usinas eólicas por ano. De acordo com o gráfico, o período de maior inauguração de eólicas por município foi entre os anos de 2014 e 2017. Dessa maneira, a maior parte dos parques eólicos não pôde ser avaliada neste trabalho, por falta de dados nas variáveis de comparação referentes aos anos subsequentes a 2015 no banco de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

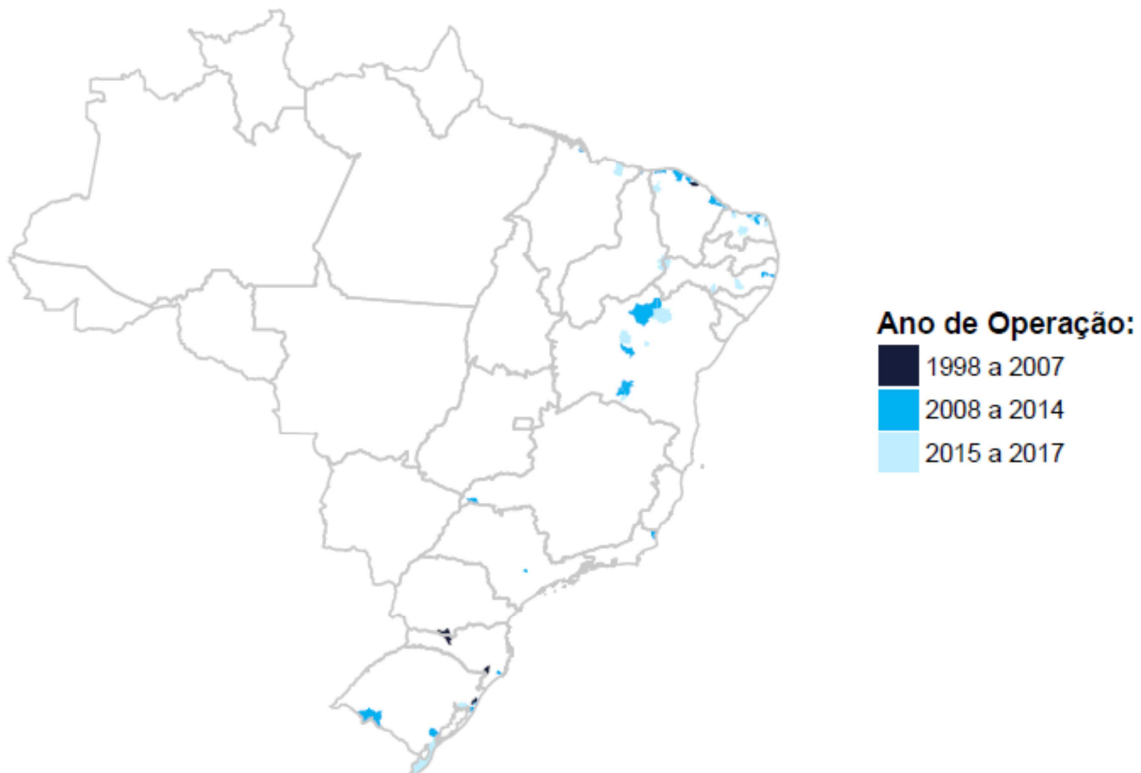
Gráfico 1. Número de municípios com parques eólicos pelo ano de sua primeira usina construída



Fonte: Elaboração própria, com base em dados da Aneel (2017).

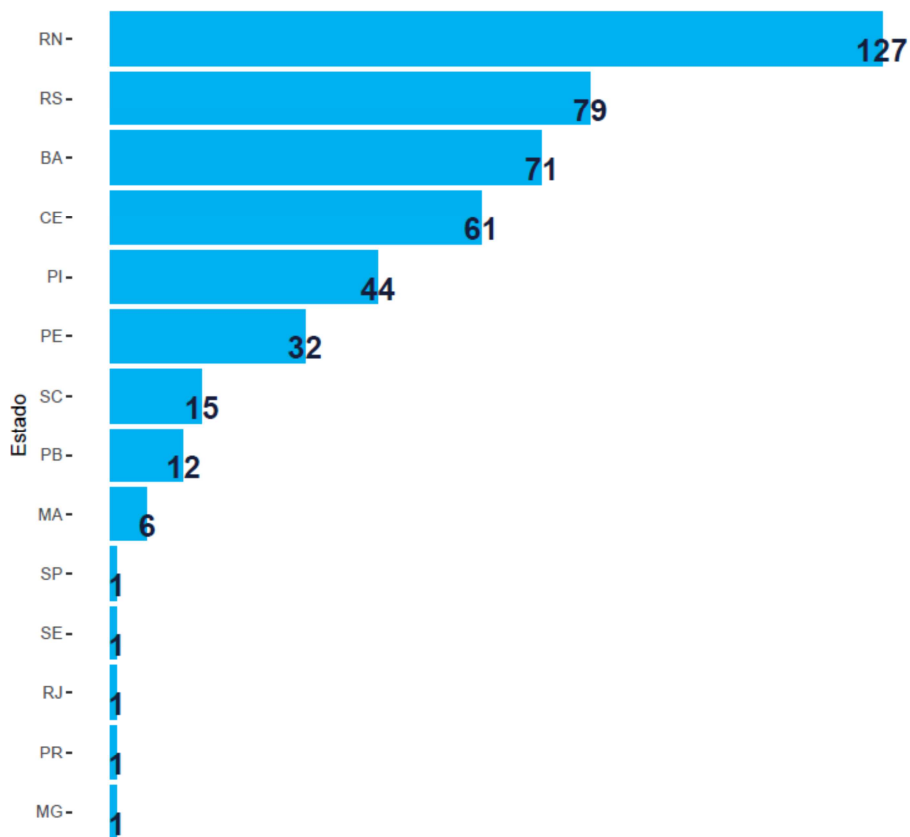
A Figura 1 indica como as usinas eólicas estão distribuídas no Brasil, agregando os parques eólicos por período de construção. Os períodos foram divididos em três grupos, em relação ao período de análise do presente trabalho, definida pela disponibilidade de dados: (i) antes (1998-2007); (ii) durante (2008-2014); e (iii) depois (2015-2017). A região Nordeste contém a maioria das usinas eólicas no país, com 78% do total. O estado que apresenta a maior quantidade de usinas é o Rio Grande do Norte, concentrando 28% do total entre os 14 estados. A região Sul é a subsequente, com 21%, e só o Rio Grande do Sul representando 17% de eólicas no Brasil. A região Sudeste conta com menos de 1% da matriz energética eólica, conforme informações da Aneel (2017). O mapa também evidencia uma concentração de usinas no período mais recente.

Figura 1. Mapa dos municípios com parques eólicos pelo ano da primeira usina construída



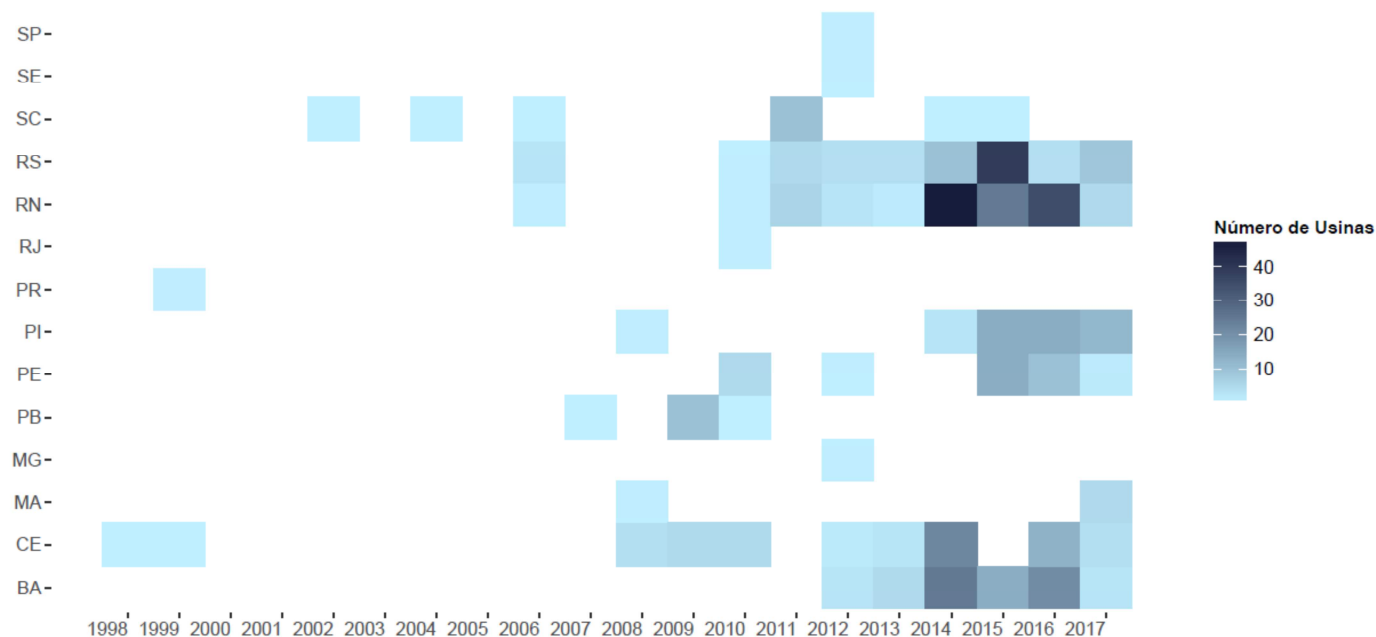
Fonte: Elaboração própria, com base em dados da Aneel (2017).

O Gráfico 2 representa a distribuição de usinas eólicas nos estados brasileiros, em todo o período coberto pelos dados da Aneel (1998-2017). Atualmente, 14 estados produzem energia elétrica por meio de usinas eólicas. A região Nordeste abrange a maioria das usinas eólicas no país, com 78% do total, distribuídas em oito estados. O estado que contém a maior quantidade de usinas é o Rio Grande do Norte, concentrando 28% do total nacional. A região Sul vem novamente na sequência, com 21% das usinas distribuídas em três estados, e só o Rio Grande do Sul representando 17% de eólicas no Brasil. A região Sudeste conta com menos de 1% da fonte energética eólica, e as usinas estão presentes em três estados.

Gráfico 2. Número total de usinas por estado, 1998-2017

Fonte: Elaboração própria, com base em dados da Aneel (2017).

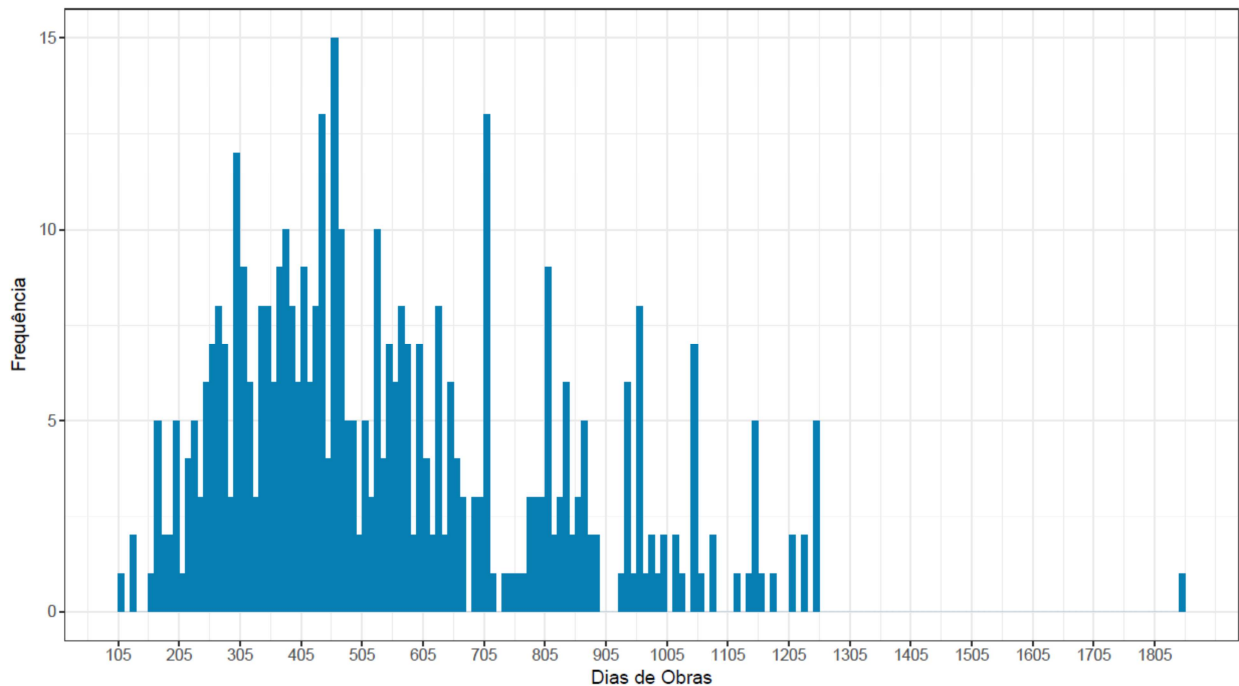
O Gráfico 3 representa a distribuição de usinas eólicas nos estados brasileiros pelo ano de sua construção. Mais uma vez, é evidenciada a concentração das usinas no período a partir de 2014 e nos estados da região Nordeste, sobretudo no Rio Grande do Norte. A concentração das novas usinas nessa região está se acentuando desde 2013.

Gráfico 3. Número de usinas por estado e ano de construção, 1998-2017

Fonte: Elaboração própria, com base em dados da Aneel (2017).

O tempo de construção de uma usina eólica foi definido como o número de dias entre o início das obras civis de suas estruturas e o início de sua operação comercial. No período entre 2005 e 2017, o tempo de construção foi em média de 557 dias, ou aproximadamente 1,5 ano, conforme mostra o Gráfico 4. Destaca-se que não foram encontradas informações sobre o cronograma de obras das usinas que iniciaram operações antes de 2005. Todavia, essas unidades somam apenas cinco casos de um total de 452 usinas eólicas identificadas pelo presente trabalho.

Gráfico 4. Histograma do tempo de construção das usinas eólicas, 2005-2017



Fonte: Elaboração própria, com base em dados da Aneel (2017).

1.2. Revisão da literatura empírica

Há estudos que procuram analisar a importância da introdução de energias renováveis em nível local. Pelo fato de poder coexistir com outras atividades ligadas ao uso da terra, os parques eólicos podem ajudar o desenvolvimento econômico de regiões agrícolas, com capacidade de melhorar, assim, esse setor, aumentando a qualidade de vida e reduzindo desigualdades sociais (AIE, 2002; COSTA; PRATES, 2005). Mais especificamente, o investimento em energia eólica está associado ao aumento de renda dos pequenos proprietários de terras em regiões ermas do Brasil. Isso se deve aos arrendamentos de suas terras para a instalação de torres eólicas (ABEEÓLICA, 2018).

Na literatura, há uma crescente série de estudos empíricos que procuraram medir o impacto de usinas eólicas em nível local no Brasil. Simas (2012) procurou verificar a contribuição da energia eólica para a geração de empregos

no país, tomando como base de dados primários uma série de entrevistas com 18 parques eólicos e empresas de componentes para o setor e utilizando uma análise baseada em matriz insumo-produto. O trabalho chegou à conclusão de que o setor de energia eólica tem o potencial de geração de 330 mil empregos até 2020, principalmente no setor de construção.

Com foco específico nos efeitos em nível municipal, Resende (2015) estudou o impacto da construção de usinas eólicas sobre os preços dos aluguéis nos entornos. O trabalho utilizou dados dos Censos Demográficos do IBGE de 1991 e de 2010 para cobrir 18 municípios que receberam alguma usina eólica entre esses anos. Por meio da metodologia do controle sintético, o estudo concluiu que os aluguéis ficaram 8,3% mais caros nos municípios que receberam usinas eólicas do que foi previsto pelo grupo de controle.

Especificamente para os municípios da região Nordeste, Rodrigues, Gonçalves e Chagas (2016) procuraram verificar o impacto dos parques eólicos no nível de emprego, na massa salarial e no número de firmas em cada unidade. A análise partiu do cruzamento entre dados da Aneel com dados de mercado de trabalho da Relação Anual de Informações Sociais (Rais), do então Ministério do Trabalho e Emprego. Por meio de um pareamento por escore de propensão, o estudo observou que os municípios com usinas eólicas apresentaram maior massa salarial e número de firmas que as demais, ao passo que o efeito sobre o emprego não foi significativo.

Já para o caso da região Sul, Rintzel, Alves e Massuquetti (2017) cruzaram dados de mercado de trabalho da Rais com dados de valor adicionado desagregado por grandes setores do IBGE e informações de receitas de impostos do Sistema de Coleta de Dados Contábeis e Fiscais dos Entes da Federação (SISTN) em 1999, 2006 e 2013. O estudo procurou observar efeitos da instalação de parques eólicos nos municípios por meio do método estrutural diferencial, o qual é baseado na comparação do desempenho dos municípios tratados com a média da região para cada variável. O trabalho verificou resultados positivos para todas as variáveis, especialmente para o nível de emprego.

Ou seja, os estudos empíricos levantados destacaram potenciais efeitos positivos da construção de usinas eólicas em suas localidades. Todavia, esses trabalhos focaram em casos específicos e não controlaram o problema da micronumerosidade de casos tratados, o que compromete inferências estatísticas sobre a avaliação. O único estudo que tratou esse problema pelo método do controle sintético trabalhou com apenas um ponto no período pré-tratamento, de modo que suas previsões podem não ter consistência. Dessa maneira, a contribuição deste relatório é exatamente utilizar uma metodologia apropriada para avaliação com poucos tratados, valendo-se de ampla disponibilidade de dados para melhor verificar o impacto da construção de usinas eólicas nos municípios brasileiros.

Nesse levantamento da literatura empírica, destaca-se o trabalho de Assunção, Costa e Szerman (2016), o qual, ainda que tenha focado em usinas hidrelétricas, foi a principal inspiração metodológica do presente artigo. Esse trabalho procurou avaliar os efeitos da construção de usinas hidrelétricas em 82 municípios brasileiros, entre 2002 e 2011, em uma série de indicadores socioeconômicos municipais, tais como produto interno bruto (PIB) *per capita*, taxa de crescimento do PIB, número de empregos formais, número de empresas formais e tamanho da população. Os autores utilizaram a metodologia do controle sintético, a qual, por basear-se na construção de 82 estudos de caso comparáveis, permite a estimação dos efeitos dinâmicos desde o início da construção das usinas, assim como o cálculo do efeito mediano da construção e a distribuição desses efeitos por ano, no curto e no médio prazo. O estudo observou que o impacto da construção das usinas hidrelétricas é estimulado apenas no curto prazo, tendendo a zero no quinto ano depois do início das obras. O único impacto de médio prazo foi notado no nível de emprego formal no município. Por fim, os impactos nos municípios são muito heterogêneos, em todos os indicadores estimados.

2. A avaliação de impacto

2.1. Base de dados

Com o objetivo de verificar possíveis efeitos locais da política de construção de usinas eólicas no Brasil, o presente trabalho utilizou uma extensa base de dados dos municípios brasileiros. Essa base é uma consolidação de informações de diversas fontes, que serão descritas a seguir. A base municipal conta com um total de 250 variáveis numéricas que podem servir como indicadores de interesse ou covariadas para as estimações de controle sintético. Essas variáveis são provenientes de 12 fontes diferentes de informações municipais:

- o Sistema de Informações sobre Mortalidade (SIM), do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (Datasus), com dados de causas de mortes;
- o Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (Cnes), também do Datasus, com informações sobre número de estabelecimentos e equipamentos de saúde;
- informações de economia e população do IBGE, incluindo o PIB do município e sua desagregação nos setores de agropecuária, indústria, serviços e administração pública, tanto em proporção, quanto em valor agregado;
- informações da Estatística Bancária por Município (Estban), incluindo o número de agências bancárias e o montante de empréstimos, financiamentos e outras operações bancárias, além do ativo e passivo total do setor, do Banco Central do Brasil – BCB (2015);
- informações sobre importações e exportações da Secretaria de Comércio Exterior – Secex (2016), órgão do então Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (Mdic);

- informações sobre desmatamento e cobertura florestal na Amazônia Legal do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe);
- a Rais, do então Ministério do Trabalho e Emprego, com informações sobre número de empregados, vínculos empregatícios e de estabelecimentos, salário médio e idade média dos empregados, com informações consolidadas em nível municipal;
- informações financeiras dos municípios, por meio do Finanças do Brasil (FinBra), banco de dados criado pela Secretaria do Tesouro Nacional (STN), em convênio com a Caixa Econômica Federal (CEF) – essa base inclui informações sobre receitas e despesas públicas desagregadas por função e também ativos, passivos, patrimônio líquido e resultados acumulados da administração pública;
- dados do Censo Escolar, do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas – Inep (2015), com informações sobre número de escolas, turmas e alunos matriculados, assim como sua média de idade;
- dados do Censo do Ensino Superior, também do Inep (2014), com informações sobre o número de estabelecimentos e de alunos, distribuídos por turno e por condição (entrantes ou concluintes), assim como sua média de idade;
- dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (Snis), da Secretaria Nacional de Saneamento (SNS), sobre os sistemas de água, esgoto e coleta de resíduos e o acesso a eles; e
- além disso, a base municipal conta com variáveis derivadas, construídas pelo cruzamento de dois ou mais indicadores de diferentes fontes – a maior parte dessas variáveis indicam valores

integrais como proporção da população, das receitas do governo ou da área do município (por exemplo, o PIB *per capita*, as despesas com habitação como proporção da receita corrente líquida da prefeitura, a área desmatada sobre a área total e a densidade demográfica do município).

As principais informações sobre essas fontes de dados estão registradas na Tabela 1. Nessa tabela, estão representados, por fonte de dados, o número de variáveis, o menor ano inicial de cobertura, o maior ano final e as médias de preenchimento, tanto das variáveis em si como da proporção dos municípios cobertos com pelo menos uma observação.

Tabela 1. Informações gerais sobre as fontes das variáveis municipais

Fonte	Variáveis	Ano inicial	Ano final	Preenchimento (%)	Cobertura nos municípios (%)
Censo Escolar	6	2007	2015	99,9	100,0
Derivadas	22	1999	2016	71,0	77,8
Censo do Ensino Superior	11	2009	2014	85,5	86,0
Estatística Bancária por Município	21	1999	2015	61,7	69,5
Finanças do Brasil	76	2002	2015	83,7	96,3
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	10	1999	2016	99,5	99,6

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais	3	2000	2015	13,6	13,6
Relação Anual de Informações Sociais	15	2002	2014	99,8	100,0
Secretaria de Comércio Exterior	8	2000	2016	56,3	67,5
Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento	36	1999	2014	49,8	80,5
Sistema de Informações sobre Mortalidade	5	1999	2014	93,9	100,0
Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde	37	2005	2015	56,4	56,4

Fonte: Elaboração própria.

Do total das 250 variáveis numéricas presentes na base de dados, o destaque são as contas públicas municipais, com um total de 76 indicadores, seguido do registro de unidades do Sistema Único de Saúde (SUS), com 37 indicadores. Em relação à cobertura temporal, a base de dados municipais consolidada abrange, no total, um período de 1999 a 2016. O destaque são as bases do IBGE e as variáveis derivadas, que cobrem o período inteiro. Por outro lado, os

censos das escolas e do ensino superior são relativamente mais restritos. De uma forma geral, a base é mais completa no período de 2002 a 2014.

Uma avaliação de impacto exige informações completas sobre os indicadores de interesse, assim como de suas covariadas. Essa necessidade é ainda mais importante em estimativas realizadas por controle sintético, as quais são mais consistentes quanto mais extenso for o período de ajuste. O Censo Escolar, a Rais, o SIM e o IBGE dispõem das informações mais completas. Já o Inpe parece apresentar as informações menos completas. Isso se deve, porém, ao fato de que suas variáveis são observadas apenas para os municípios da Amazônia Legal.

Quanto à cobertura por municípios, o percentual de preenchimento foi determinado como a proporção de municípios brasileiros com pelo menos uma informação ao longo do período de cobertura, para cada variável. Novamente, o Censo Escolar, a Rais, o SIM e o IBGE têm as informações mais completas. De forma geral, observa-se que os indicadores médios de preenchimento e de cobertura por município são semelhantes em cada fonte. Isso sugere que os problemas de falta de dados em algumas séries devem-se mais à inexistência de dados para alguns municípios – sobretudo os de menor porte – do que à descontinuidade das séries. A exceção a essa tendência é a base do Snis, que é presente em mais de 80% dos municípios brasileiros, mas com uma taxa de preenchimento total de menos de 50%.

2.2. Estatísticas descritivas e análise exploratória dos dados

O presente estudo de caso pretende calcular o impacto da construção de usinas eólicas sobre o PIB *per capita* dos municípios beneficiados. Em razão da disponibilidade de dados, a avaliação considera como unidades tratadas os 37 municípios beneficiados de 2007 a 2014 por entrada em operação de sua primeira usina eólica, expostos na Tabela 2. Já os potenciais controles (isto é, o *donor pool*) incluem um total de 5.490 municípios que não têm usinas eólicas. Esse conjunto não inclui o município de Gravatá (PE). Apesar de sua primeira usina eólica ter entrado em construção em 2010, suas obras iniciaram-se

apenas em 2005, de modo que há falta de dados para a análise. Outros 42 municípios que receberam sua primeira usina eólica antes de 2007 ou depois de 2014 foram considerados contaminados e excluídos da amostra. O exercício realizado procurou construir um controle sintético para cada unidade tratada, com base em combinações de municípios não tratados de todo o Brasil. Considerando-se que os maiores efeitos sobre as economias locais são provenientes das obras de implantação dos parques, para melhor capturar os efeitos da construção das usinas eólicas, o controle sintético foi aplicado para cada caso com base no ano de início das obras civis das estruturas, de acordo com informações da Aneel (2017). Para evitar distorções, alguns ajustes foram realizados. Para as obras que duraram mais de um ano, caso o seu mês de início tenha sido de julho a dezembro, o ano de tratamento foi deslocado para o ano imediatamente posterior, uma vez que a maior parte de suas obras aconteceu nesse ano. Para as obras que duraram até um ano, considerou-se que o ano de tratamento é aquele em que ocorreu o maior número de dias de obras.

Tabela 2. Lista de municípios avaliados, ano e potência de sua primeira usina eólica

Município	Tratamento	Potência outorgada (MW)	Anos de obras
Acaraú (CE)	2008	70.800,00	2
Amontada (CE)	2009	54.600,00	0
Aracati (CE)	2007	10.500,00	1
Areia Branca (RN)	2012	20.000,00	1
Barra dos Coqueiros (SE)	2012	34.500,00	0
Beberibe (CE)	2008	25.600,00	0
Boituva (SP)	2012	2,24	0

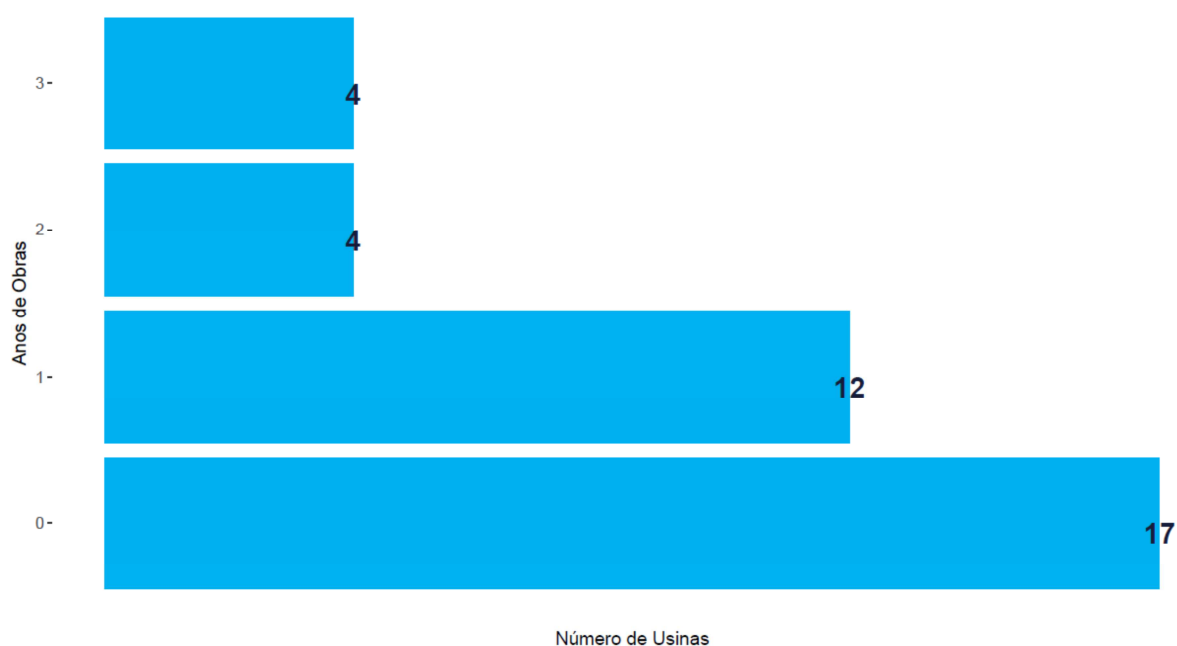
Brotas de Macaúbas (BA)	2011	95.190,00	1
Cabo de Santo Agostinho (PE)	2012	2.000,00	0
Caetité (BA)	2011	296.820,00	3
Camocim (CE)	2008	105.000,00	1
Cururupu (MA)	2008	22,50	0
Galinhos (RN)	2012	118.570,00	2
Guamaré (RN)	2010	51.000,00	0
Guanambi (BA)	2011	167.840,00	3
Igaporã (BA)	2011	143.840,00	3
Itarema (CE)	2012	30.000,00	2
Iturama (MG)	2012	156,00	0
João Câmara (RN)	2011	39.600,00	1
Macaparana (PE)	2010	4.950,00	0
Mataraca (PB)	2007	10.200,00	0
Palmares do Sul (RS)	2010	9.200,00	0
Paracuru (CE)	2007	25.200,00	1
Parazinho (RN)	2011	466.000,00	3
Parnaíba (PI)	2008	18.000,00	0
Pedra Grande (RN)	2012	118.400,00	2
Pelotas (RS)	2014	1,98	0
Pombos (PE)	2009	4.950,00	1
Sant'Ana do Livramento (RS)	2011	60.000,00	0
São Francisco de Itabapoana (RJ)	2010	28.050,00	0

São Miguel do Gostoso (RN)	2013	51.200,00	1
Sento Sé (BA)	2012	90.000,00	1
Sobradinho (BA)	2012	48.000,00	1
Trairi (CE)	2012	55.392,00	1
Tramandaí (RS)	2010	70.000,00	1
Tubarão (SC)	2014	2.099,50	0
Xangri-lá (RS)	2014	27.675,00	0

Fonte: Elaboração própria, com base em dados da Aneel (2017).

A maior parte dos municípios tratados foi afetada por obras de até dois anos, conforme mostra o Gráfico 5. As obras mais duradouras, por outro lado, são geralmente associadas a parques eólicos maiores, com maior potência outorgada.

Gráfico 5. Usinas eólicas por anos de obras (municípios tratados)



Fonte: Elaboração própria, com base em dados da Aneel (2017).

A Tabela 3 contém estatísticas descritivas sobre os municípios tratados em relação ao total de municípios elegíveis como unidades de comparação (*donor pool*), considerando-se o ano imediatamente anterior aos primeiros tratamentos (2006). Apresentam-se a média e o desvio-padrão de 16 indicadores, com o objetivo de traçar um perfil dos dois grupos de municípios. Conforme mostra a tabela, os tratados estavam, em 2006, com uma renda anual média por habitante ligeiramente acima da média nacional. Além disso, o esse grupo tem maior porte do que os não tratados em população, número de estabelecimentos, receitas totais, despesas com saúde e educação e extensão da rede de água. Já os potenciais controles contam com vantagem quanto a PIB, receitas tributárias, volume de homicídios *per capita* e extensão da rede de esgotos. Pelos dados expostos, não é possível inferir diferenciais de níveis de desenvolvimento entre os dois grupos.

Tabela 3. Perfil das unidades, 2006

Variável	<i>Donor Pool</i>		Tratados	
	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão
PIB (R\$)	432.458.035,18	4.687.964.973,25	402.910.918,92	592.410.986,73
PIB <i>per capita</i> (R\$)	8.052,04	9.605,62	9.167,03	9.715,34
Administração pública/PIB (%)	33,37	17,00	30,94	16,97
Agropecuária/PIB (%)	22,27	14,72	12,07	9,72
Indústria/PIB (%)	13,77	14,92	25,01	24,25
Serviços/PIB (%)	30,59	12,57	31,99	16,00
População	33.017,24	197.831,82	49.427,19	62.365,64

Número de estabelecimentos	445,85	3.596,20	520,84	1.042,37
Número de vínculos de emprego	6.250,85	66.662,33	6.087,70	10.492,52
Massa salarial (R\$)	7.343.984,40	109.022.685,90	5.094.955,44	10.576.407,88
Receita total (R\$)	33.571.586,64	280.819.705,38	42.600.486,33	49.834.522,83
Receita tributária (R\$)	6.426.819,96	119.969.415,13	4.137.954,52	6.393.477,11
Despesas com educação (R\$)	8.170.058,99	58.382.637,37	11.505.349,30	11.511.485,81
Despesas com saúde (R\$)	7.280.861,06	51.270.657,61	9.035.692,83	12.589.765,74
Óbitos por homicídios por 100 mil habitantes	12,56	16,93	14,23	16,61
Extensão da rede de água (km)	89,45	143,03	59,55	94,68
Extensão da rede de esgotos (km)	96,59	425,65	110,50	162,49
Total de municípios	5.490,00		37,00	

Fonte: Elaboração própria, com base em dados de IBGE (2016); MTE (2015); STN [2015]; Datasus (2015a, 2015b) e SNS [2014].

2.3. Controle sintético

A análise de impacto de intervenções públicas em nível de localidade, como a construção de usinas eólicas sobre o desempenho econômico dos municípios contemplados, traz uma série de desafios de ordem empírica (ASSUNÇÃO; COSTA; SZERMAN, 2016). Em primeiro lugar, é preciso que alguma técnica seja utilizada para construção de um cenário contrafactual. Ou seja, é necessário que se leve em consideração a mensuração da variável de interesse em um cenário hipotético no qual esses municípios não tenham recebido intervenção. Dessa maneira, a medida do impacto será a diferença entre a variável de interesse, no caso, o PIB *per capita*, observada nos municípios beneficiados (tratados), e o PIB *per capita* do contrafactual depois do tratamento.

Em segundo lugar, a escolha de realizar obras de infraestrutura em localidades específicas é baseada em fatores políticos, econômicos e ambientais. Isto é, como a escolha dos municípios contemplados por usinas eólicas não é aleatória, espera-se que as localidades tratadas tenham características diferentes das não tratadas. Dessa maneira, métodos empíricos baseados em simples comparações de médias entre o grupo de unidades afetadas pela intervenção e o grupo das não afetadas levariam a estimativas viesadas sobre supostos impactos.

Terceiro, o número de unidades afetadas por esse tipo de intervenção, geralmente, é pequeno. Dessa maneira, os resultados estimados por meio de métodos de análise de impacto baseados em pareamento e em diferenças-em-diferenças podem ter problemas de inferência estatística.

Nesse sentido, a metodologia de controle sintético foi originalmente concebida para estudos de caso, sendo apropriada para quando há poucos tratados, como é o caso em análise. Parte-se do pressuposto de que uma combinação de unidades não tratadas compõe melhor contrafactual para a tratada do que qualquer outra individualmente. Para definir as ponderações aplicadas a cada combinação, o método se vale de características mensuráveis de todas as unidades disponíveis para a análise. O trabalho da metodologia de controle

sintético é procurar simular, por meio de uma combinação de informações observadas de unidades não tratadas, a mesma trajetória prévia ao tratamento que se observou na unidade beneficiária, conforme foi desenvolvido por Abadie e Gardeazabal (2003) e Abadie, Diamond e Hainmueller (2010; 2015).

Supõe-se uma amostra de $J + 1$ unidades (por exemplo, municípios) indexadas por j . A unidade $j = 1$ é a unidade de interesse, isto é, a unidade tratada por uma intervenção. As demais unidades, de $j = 2$ a $j = J + 1$ constituem o chamado *donor pool*, isto é, o conjunto de unidades não tratadas pela intervenção e que servem como potenciais unidades de comparação com a unidade tratada.

Pressupõe-se que a amostra é um painel balanceado, isto é, que é composta por dados longitudinais e que todas as suas unidades são observadas no período de $t = 1, \dots, T$. A amostra inclui um número positivo de períodos pré-intervenção T_0 , assim como de períodos pós-intervenção T_1 , de modo que $T = T_0 + T_1$. A intervenção que será avaliada consiste na exposição da unidade $j = 1$ ao tratamento durante os períodos $t = T_0 + 1, \dots, T$, considerando que essa intervenção não tem efeitos durante o período pré-tratamento $t = 1, \dots, T_0$. Dessa maneira, o objetivo da análise de impacto nessa amostra é medir o efeito da intervenção sobre a unidade tratada em um indicador de interesse para o período pós-tratamento.

Por hipótese, considera-se que as características pré-tratamento da unidade de interesse são mais bem aproximadas por uma combinação das unidades não tratadas do que por qualquer uma dessas unidades não tratadas isoladamente. Dessa maneira, o controle sintético pode ser entendido como uma média ponderada das unidades do *donor pool* que será comparado com a unidade tratada. O controle sintético é representado por um vetor $(J \times 1)$ de pesos $W = (w_2, \dots, w_{J+1})$, tal que $0 \leq w_j \leq 1$ para $j = 2, \dots, J$ e $w_2 + \dots + w_{J+1} = 1$. Assim, a escolha de qualquer valor particular de W é equivalente à escolha de um controle sintético.

X_1 é um vetor $(K \times 1)$ contendo as características pré-tratamento da unidade tratada, das quais pretende se aproximar o máximo possível. X_0 , por sua vez, é

uma matriz $(K \times J)$ contendo os valores das mesmas variáveis para o *donor pool*. Observa-se que K equivale ao número de variáveis disponíveis para mensurar as características das unidades no período pré-tratamento, sendo preditoras da variável de interesse e não sendo afetadas pela intervenção nesse período. Nesse conjunto de variáveis, pode-se incluir os valores da própria variável de interesse antes do tratamento.

A diferença entre as características da unidade tratada e do controle sintético é determinada pelo vetor $X_1 - X_0W$. O objetivo da metodologia aqui aplicada é escolher o vetor de pesos W^* que minimiza essa distância. Esse valor é obtido da seguinte maneira: para $m = 1, \dots, K$, seja X_{1m} o valor da variável m para a unidade tratada e X_{0m} um vetor $1 \times J$ que contém os valores da variável m para as unidades do *donor pool*, deve-se escolher o W^* que minimiza:

$$\min_{W \in W} \sum_{m=1}^K v_m (X_{1m} - X_{0m}W)^2 \quad (1)$$

Na equação (1), v_m é um peso que reflete a importância relativa atribuída à variável m quando se mede a discrepância entre X_1 e X_0W .

Seja Y_{jt} a variável de interesse da unidade j no tempo t . Y_1 é um vetor $(T_1 \times 1)$ dos valores pós-intervenção da variável de interesse para a unidade tratada, de modo que $Y_1 = (Y_{1T_0+1}, \dots, Y_{1T})'$. Y_0 é uma matriz $(T_1 \times J)$ em que a coluna j contém os valores pós-intervenção da variável de interesse para a unidade $j + 1$. Dessa maneira, a variável de interesse do controle sintético é $Y_1^* = Y_0W^*$.

O estimador de controle sintético do impacto do tratamento é definido pela comparação entre os valores da variável de interesse para a unidade tratada e para a unidade de controle sintético no período pós-tratamento:

$$\delta = Y_1 - Y_1^* \quad (2)$$

(3)

$$\delta = Y_{1t} - \sum_{j=2}^{J+1} w_j^* Y_{jt}$$

A consistência do estimador de controle sintético é maior quanto maior for o número de períodos pré-tratamento que estiver presente na base de dados, conforme apontam Abadie, Diamond e Hainmueller (2010). Segundo esse estudo, esse fator contribui na redução do papel de variáveis não observadas na determinação da trajetória pré-tratamento da variável de interesse.

A maneira mais comum de mensurar a qualidade do ajuste por meio do método do controle sintético é pelo erro quadrático médio pré-tratamento, ou Root Mean Squared Prediction Error (RMSPE). Esse indicador equivale à razão entre os desvios quadrados da trajetória da variável de interesse entre a unidade de referência (tratada ou placebo) e seu correspondente controle sintético antes do ponto de tratamento. Quanto menor for esse valor, menor é a distância entre as trajetórias, e melhor é o ajuste.

(4)

$$RMSPE = \left(\frac{1}{T_0} \sum_{t=1}^{T_0} \left(Y_{1t} - \sum_{j=2}^{J+1} w_j^* Y_{jt} \right)^2 \right)^{1/2}$$

Em caso de intervenções com mais de uma unidade tratada, o controle sintético deve ser aplicado para cada caso individual. Depois disso, para obter medidas do efeito geral da intervenção, as estimativas individuais devem ser compiladas (ASSUNÇÃO; COSTA; SZERMAN, 2016). Ou seja, em vez de se considerar uma única unidade tratada $j = 1$, considera-se um conjunto de G unidades tratadas por uma intervenção, as quais são indexadas por $g = 1, 2, \dots, G$. T_{0g} é o ano em que houve o tratamento em cada unidade tratada. Para melhor comparar o tratamento em diferentes anos, esses são

normalizados em $\tau = t - T_{0g}$, em que $\tau = 0$ é o ano do tratamento de cada unidade em G .

Depois da normalização temporal, seja $\delta_{j\tau g} = y_{j\tau g} - \hat{y}_{j\tau g}^*$ o efeito estimado da intervenção na unidade $g \in G$, pertencente ao conjunto J de unidades tratadas e não tratadas no período τ . Por exemplo, pode referir-se ao impacto da construção da usina eólica no município g , integrante do total J de municípios brasileiros, no ano τ . Dessa maneira, os resultados das unidades tratadas são compilados para cada ponto no tempo, de modo a obter uma distribuição empírica. Portanto, o impacto médio dos G tratamentos em cada unidade g será:

$$\bar{\delta}_t = \frac{\sum_{g=1}^G \delta_{g1\tau}^*}{G} = \frac{\sum_{g=1}^G (y_{g1\tau} - y_{g1\tau}^*)}{G} \quad (5)$$

Em caso de elevada heterogeneidade de efeitos entre as unidades tratadas, pode ser mais vantajoso utilizar a mediana em vez da média para compilar os resultados individuais, assim como os percentis 0,25 e 0,75 para cada caso:

$$Px(\delta_\tau) = Px(\delta_{g1\tau}^*) \quad (6)$$

Na equação (6), Px equivale ao percentil escolhido do efeito para cada τ de tratamento.

Observa-se que, nos casos em que a intervenção não foi aleatoriamente atribuída entre as unidades, dois problemas podem ameaçar as conclusões quanto à inferência a respeito dos efeitos individuais compilados. O primeiro deles é que pode haver viés; isto é, a trajetória da variável de interesse de uma unidade tratada pode estar descolada de seu controle sintético desde antes da intervenção. O segundo é que pode haver heterocedasticidade de choques

idiossincráticos. Esse problema acontece quando uma unidade tratada recebe choques aleatórios sobre sua variável de interesse com uma variância diferente de seu controle sintético. Se os choques atingirem a unidade tratada com maior variância do que o controle sintético, poderá haver superestimação do efeito do tratamento. Se os choques atingirem o controle sintético com maior variância do que a unidade tratada, poderá haver subestimação do tratamento.

Os dois problemas – viés e heterocedasticidade de choques – são detectados no exercício empírico por meio de um mau ajuste pré-tratamento da variável de interesse, e isso pode ser testado sob a forma de um elevado RMSPE pré-tratamento. Por isso, uma forma simples de se controlar a influência desses casos na estimação do efeito compilado das intervenções é a eliminação das unidades tratadas com um nível de RMSPE pré-tratamento acima de um patamar escolhido.

2.4. AdaLASSO – método de seleção de covariadas

Os modelos de alta dimensionalidade estão cada vez mais presentes na literatura, já que a inclusão de um grande número de variáveis pode contribuir para ganhos de capacidade preditiva dos modelos (KONZEN, 2014). Quando, porém, a dimensionalidade do modelo é grande em relação ao tamanho da amostra, os métodos tradicionais de regressão podem apresentar problemas, pois:

- aumenta-se a dificuldade de tornar os modelos interpretáveis;
- os modelos perdem robustez;
- há comprometimento da eficiência computacional;
- há perda de eficiência quanto à inferência estatística; e
- há problemas com correlação espúria entre as covariadas do modelo, a qual pode ser elevada mesmo quando as covariadas forem independentes e identicamente distribuídas.

No caso de modelos de controle sintético, esses problemas tendem a ser mais graves, já que o método tem sua eficiência computacional muito sensível à extensão das bases de dados. Não obstante, nesses modelos a estimação do contrafactual é dependente do conjunto de covariadas presente na base de dados de análise. Por isso, há a necessidade de filtrar as variáveis mais importantes para explicar a trajetória da variável de interesse sobre a qual será calculado o efeito da intervenção realizada.

Uma solução para problemas referentes à alta dimensionalidade dos modelos é a suposição de esparsidade do vetor de parâmetros. Isto é, a suposição de que muitos de seus componentes são iguais a zero. Essa hipótese pode produzir estimativas viesadas, mas contribui com a identificação das covariadas mais relevantes, assim como com a obtenção de um modelo mais parcimonioso. Da mesma maneira, reduz a complexidade do modelo e seu custo em aspectos computacionais.

O Least Absolute Shrinkage and Selection Operator (LASSO) é um método de encolhimento do conjunto de coeficientes estimados de um modelo desenvolvido por Tibshirani (1996). Esse método consiste, simplificada, na introdução de uma penalização ao conjunto de norma L_1 dos coeficientes, isto é, uma penalização na soma dos valores absolutos dos coeficientes. Seu objetivo é permitir a estimação de um modelo que produza previsões com pequena variância e que determine um conjunto de preditores que melhor explicam a variável de interesse. A penalização introduzida tende a zerar alguns dos coeficientes estimados, o que não apenas reduz a dimensionalidade do espaço paramétrico, como também seleciona as covariadas mais relevantes.

O LASSO pode ser entendido como uma técnica de regularização. Isto é, considera-se uma função de erro do tipo $E = medida\ de\ erro + \lambda * complexidade\ do\ modelo$. No caso de uma regressão, a medida de erro equivale à soma dos quadrados dos resíduos estimados. O segundo termo representa a penalização dos modelos com maior complexidade e variância dos estimadores, e λ representa a severidade dessa penalidade. Quanto maior

for λ , mais simplificado será o modelo estimado, ainda que isso leve a um maior viés. Em termos formais, as estimativas LASSO são obtidas por meio da minimização dos quadrados dos resíduos sujeita a uma penalização de norma L_1 dos coeficientes:

$$\hat{\beta}^{LASSO} = \underset{\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k}{\operatorname{argmin}} \left\{ \sum_{i=1}^n \left(y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ji} \right)^2 + \lambda \sum_{j=1}^k |\beta_j| \right\} \quad (7)$$

Na equação (7), $\lambda \geq 0$ é uma função de um parâmetro de ajuste t , de modo que $\sum_{j=1}^k |\beta_j| \leq t$. Quanto maior o valor de λ , maior será a penalidade imposta ao somatório dos coeficientes. Por outro lado, se $\lambda = 0$, as estimativas LASSO serão iguais às estimativas de mínimos quadrados ordinários (MQO). Esse parâmetro é escolhido por um procedimento de *K-fold cross-validation*, no qual a amostra é particionada aleatoriamente em K subamostras de tamanhos iguais, e o modelo é iterativamente estimado eliminando-se uma subamostra. Assim, fazem-se previsões com base em cada estimação e compara-se a previsão com a subamostra removida, calculando-se o erro quadrático médio de previsão (EQMP) para avaliar a qualidade do ajuste naquela subamostra. Portanto, o λ ótimo deve minimizar o EQMP médio nas K subamostras.

O LASSO apresenta menor variabilidade entre outras opções de modelos de redução de dimensionalidade (KONZEN, 2014). Além disso, por encolher alguns coeficientes para zero, destaca as covariadas mais relevantes para explicar uma variável de interesse. Por fim, é capaz de realizar a escolha das variáveis e a estimação dos coeficientes simultaneamente. Contudo, deve-se observar que nem sempre o LASSO é consistente na escolha de variáveis (ZHAO; YU, 2006). Isso significa que a solução esparsa – isto é, de dimensionalidade reduzida, com alguns coeficientes reduzidos a zero – pode não representar o modelo verdadeiro quando o tamanho da amostra tende ao infinito.

Nesse sentido, o LASSO Adaptativo, ou adaLASSO, é um método que pretende dar consistência às estimativas LASSO por meio da atribuição de diferentes pesos para diferentes coeficientes (ZOU, 2006). Ou seja:

$$\hat{\beta}^{adaLASSO} = \underset{\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k}{argmin} \left\{ \sum_{i=1}^n \left(y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ji} \right)^2 + \lambda \sum_{j=1}^k w_j |\beta_j| \right\} \quad (8)$$

$$w_j = |\hat{\beta}_j^{ridge}|^{-\tau}, \tau > 0 \quad (9)$$

Na equação (8), w_j é um vetor de pesos individuais para auxiliar a seleção das variáveis relevantes para o modelo. Esse vetor é função de $\hat{\beta}_j^{ridge}$, isto é, dos coeficientes estimados por meio de uma regressão que controla possíveis efeitos de multicolinearidade (regressão *ridge*). Uma variável relevante x_j terá um valor $\hat{\beta}_j^{ridge}$ comparativamente elevado, o que reduz o peso w_j atribuído a seu coeficiente. Por outro lado, uma variável irrelevante x_j terá um valor $\hat{\beta}_j^{ridge}$ comparativamente baixo, o que aumenta o peso w_j atribuído a seu coeficiente. Assim, o modelo conferirá maior penalização dos coeficientes das variáveis que aparentam ser pouco importantes para explicar a variável de interesse.

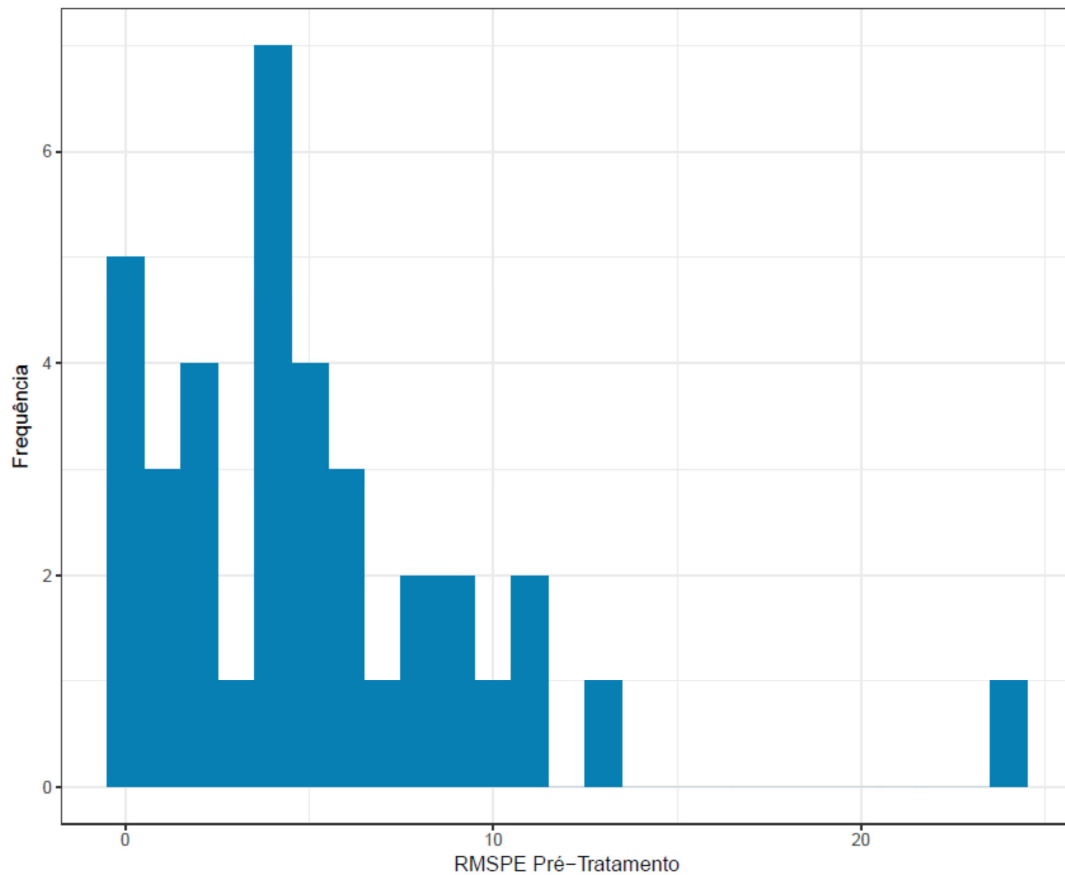
Em um conjunto de pesos w_j apropriados, o adaLASSO tem propriedades ORACLE; isto é, é consistente na seleção de variáveis e apresenta normalidade assintótica. Assim, o método seleciona corretamente as variáveis relevantes quando o modelo aumenta. Além disso, as estimativas dos coeficientes não nulos seguem assintoticamente a mesma distribuição dos estimadores de MQO quando este for estimado apenas com as variáveis relevantes.

2.5. Resultados

O método do controle sintético foi aplicado individualmente para comparar cada município tratado com seu contrafactual. Realizou-se um total de 37 avaliações individuais. O intuito foi fazer uma análise agregada de todos os municípios brasileiros que tiveram usinas eólicas entrando em operação de 2008 a 2014 com base em cada avaliação individual. Para melhor capturar o efeito da construção das usinas eólicas, o controle sintético foi aplicado considerando-se o momento do tratamento o início das obras civis das estruturas da primeira usina de cada município, incluindo os ajustes explicados na subseção anterior. Para construir a trajetória do PIB *per capita* em cada cenário contrafactual, a estimação por meio do método adaLASSO de seleção de covariadas considerou relevantes seis variáveis em nível do município que a explicam: a receita corrente líquida *per capita* (variável derivada com base em dados do FinBra e do IBGE), o salário médio (Rais), a proporção da indústria no PIB (IBGE), a despesa *per capita* em cultura (variável derivada com base em dados do FinBra e do IBGE), o PIB da agropecuária (IBGE) e a proporção da administração pública no PIB (IBGE).

Para fins de compilação dos resultados individuais, foram desconsiderados do trabalho três municípios: Guamaré (RN), Sobradinho (BA) e Galinhos (RN). Os dois primeiros obtiveram resultados discrepantes dos outros por razões alheias à produção de energia eólica. Guamaré enfrentou sua maior crise no ano de 2011, por conta da queda dos preços do petróleo na região, setor do qual sua economia é muito dependente. Sobradinho teve uma de suas maiores secas em 2013, a qual esvaziou seu reservatório hídrico e comprometeu o fornecimento de energia advinda de sua usina hidrelétrica. No caso do município de Galinhos, houve problemas com o ajuste no período pré-tratamento no controle sintético, de modo que não foi encontrado um contrafactual consistente para a verificação de impacto. Seu RMSPE pré-tratamento foi igual a 23,9, muito acima da média da amostra (5,1). Restaram 34 casos para a avaliação compilada. Os resultados das avaliações individuais estão no apêndice do presente trabalho.

Gráfico 6. Histograma da distribuição de RMSPE pré-tratamento nos 37 casos individuais avaliados



Fonte: Elaboração própria.

A primeira análise baseada nos resultados consistiu em uma comparação da proporção de casos em que o PIB *per capita* dos tratados ficou acima dos valores observados para seus respectivos controles. Intuitivamente, assumindo que o método não é viesado para a definição dos controles, o observado deveria ser que, se a construção das usinas eólicas não tiver nenhum impacto sobre as localidades, essa proporção vai circular no entorno de 50% ao longo do tempo – tal qual ocorre com a proporção de caras depois de n lançamentos de uma moeda não viciada.

A Tabela 4 mostra as estatísticas descritivas dos municípios tratados e a proporção de casos positivos por ano de referência, em que t é o ano de tratamento para cada caso.³ Para julgar se esses valores são estatisticamente significantes, um intervalo de confiança foi construído com base em uma distribuição de Bernoulli, assumindo um parâmetro p de 50%. Dessa maneira, a hipótese nula assume que, em cada momento do tempo, há 50% de chance de um município tratado estar melhor que seu controle. Caso a proporção observada fique acima do limite superior dos intervalos de confiança, há evidência de que a proporção de comparações positivas é estatisticamente superior à de comparações negativas. De acordo com a tabela, é possível verificar o descolamento da proporção de efeitos positivos em relação ao intervalo de confiança a partir de dois anos depois do tratamento, uma evidência favorável ao impacto positivo das usinas sobre as economias locais. No terceiro ano, a proporção de efeitos positivos continua maior do que a de efeitos negativos, mas toca o limite superior do intervalo de confiança. Isso pode ser uma indicação do arrefecimento dos efeitos das obras de menor tempo de duração.

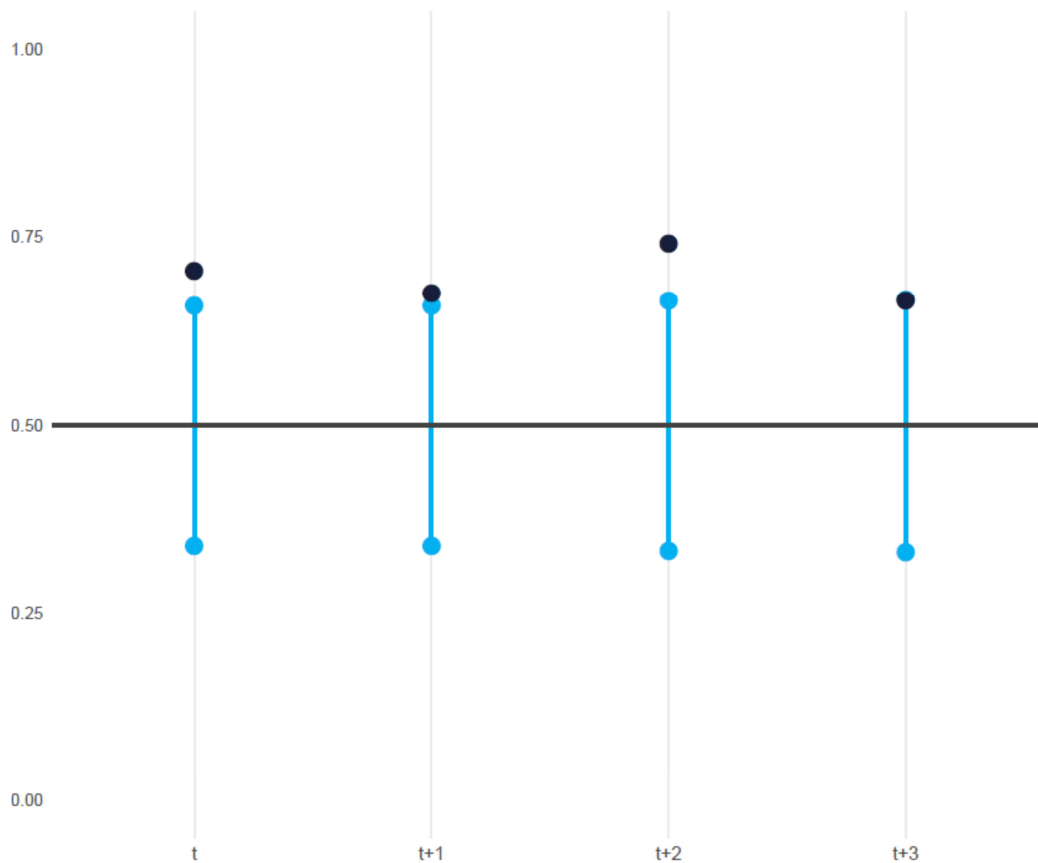
Tabela 4. Proporção de efeitos positivos e intervalo de confiança por ano de referência

Ano	Número de casos positivos	Número de casos negativos	Proporção de casos positivos	Limite inferior	Limite superior	p
t	24	10	0,71	0,34	0,66	0,5
$t+1$	23	11	0,68	0,34	0,66	0,5
$t+2$	23	8	0,74	0,33	0,67	0,5
$t+3$	20	10	0,67	0,33	0,67	0,5

Fonte: Elaboração própria.

³ O ano t equivale ao ano de construção do parque eólico, sendo $t+1$ o ano em que ele entrou em operação.

Gráfico 7. Intervalo de confiança e proporção de efeitos positivos para cada ano de referência



Fonte: Elaboração própria.

Outra análise levou em consideração a magnitude dos impactos estimados, mensurados como a diferença percentual entre a trajetória de cada tratado e seu respectivo controle sintético. Os resultados individuais foram normalizados, de modo que o ano de tratamento para todos os casos foi alinhado em t , e os demais anos de análise seguiram sua referência. Para cada ano de análise, os resultados individuais foram compilados, sendo calculadas algumas estatísticas. Em razão da heterogeneidade dos resultados individuais, observados pelos elevados desvios-padrão, optou-se por observar primeiramente as medianas, assim como os percentis 0,25 e 0,75 da

distribuição. Esse procedimento já havia sido adotado por Assunção, Costa e Szerman (2016), e os autores também obtiveram com resultados individuais heterogêneos sobre os efeitos municipais de obras de usinas hidrelétricas. Os resultados encontrados no presente trabalho estão representados na Tabela 5.

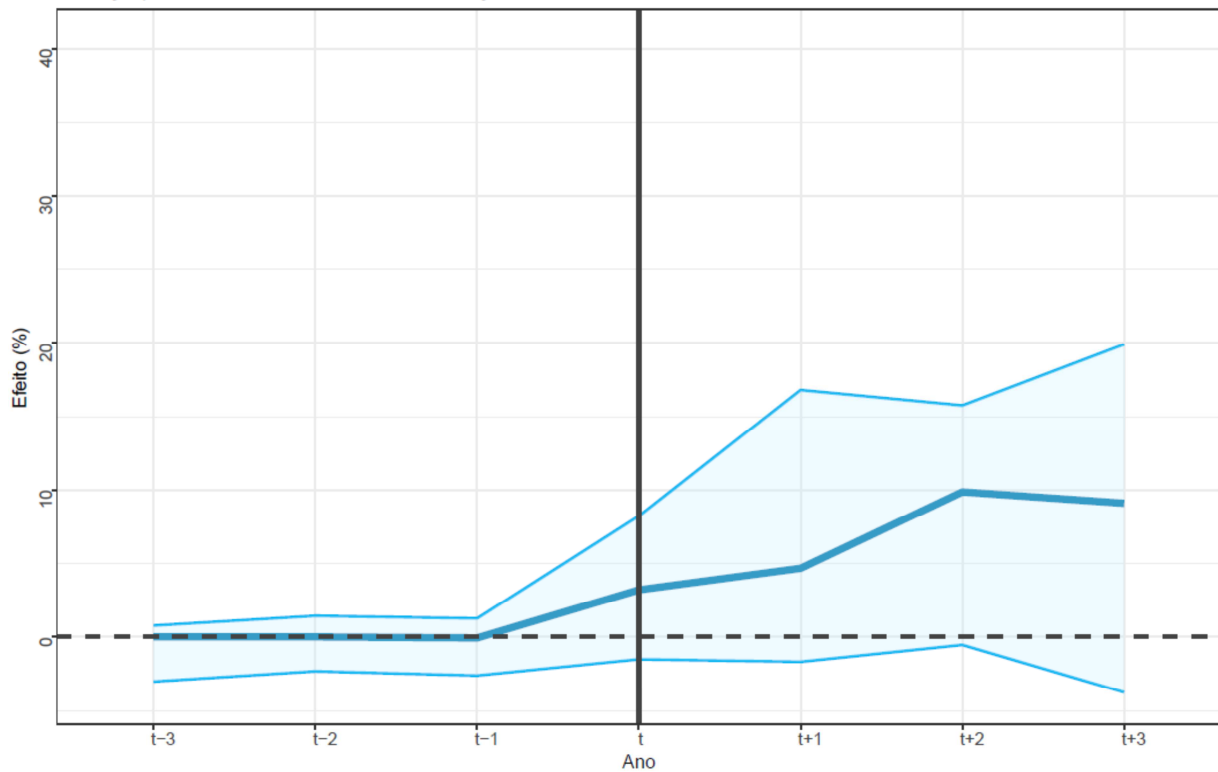
Tabela 5. Resultados compilados por ano de referência (%)

Ano	Média	Desvio-padrão	Percentil 0,25	Mediana	Percentil 0,75	Mínimo	Máximo
<i>t-3</i>	-1,32	5,01	-3,03	0,00	0,77	-18,71	9,7
<i>t-2</i>	-0,61	5,01	-2,33	0,00	1,43	-11,08	12,6
<i>t-1</i>	-1,08	3,90	-2,62	-0,07	1,26	-15,61	6,21
<i>t</i>	10,45	47,56	-1,52	3,21	8,23	-24,47	273,48
<i>t+1</i>	36,16	179,27	-1,69	4,68	16,81	-37,05	1.046,45
<i>t+2</i>	27,37	89,99	-0,54	9,87	15,76	-48,25	484,52
<i>t+3</i>	40,44	109,23	-3,77	9,11	19,91	-46,65	475,68

Fonte: Elaboração própria.

O Gráfico 8 desenha o comportamento do efeito percentual das diferenças da variável PIB *per capita* entre tratados e controles ao longo do tempo. A linha central mostra o efeito mediano entre todos os municípios tratados. As linhas secundárias abaixo e acima da mediana indicam os efeitos no primeiro e terceiro quartis, respectivamente. Observa-se que, em geral, há efeito mediano positivo no período pós-tratamento dos municípios em análise, de 4,7% no primeiro ano, 9,9% no segundo ano e 9,1% no terceiro ano. Também se nota um aumento da dispersão das linhas no último ano. Novamente, isso pode estar associado ao arrefecimento dos efeitos das obras mais curtas sobre as economias locais.

Gráfico 8. Diferenças Medianas no efeito de cada unidade tratada em relação ao seu controle sintético, por ano de referência (%)



Fonte: Elaboração própria.

Outra questão importante a ser estudada é sobre os componentes do impacto econômico das usinas eólicas nos municípios. Conforme levantado na bibliografia, os efeitos podem ocorrer tanto por causa da mobilização de insumos para as obras de construção dos parques eólicos, como por causa das receitas oriundas do arrendamento de terras depois de sua implantação. Esse ponto foi abordado pelo presente trabalho por meio de um exercício baseado em regressões. Nessas regressões, o efeito percentual calculado sobre cada município de t até $t+3$ foi modelado em função de um indicador de potência referente à obra em curso e da potência já instalada no município. Além disso, a fim de obter a avaliação de acordo com o potencial econômico do município tratado em relação ao investimento recebido, foi criada uma variável de dose do tratamento. Essa variável equivale à razão entre o total de potência outorgada do parque eólico, em megawatts (MW) e o PIB *per capita* do

município. A dose foi calculada com o valor do PIB *per capita* fixado no período em que as primeiras usinas estavam em construção. Todos os indicadores utilizados nas regressões foram normalizados por suas médias de modo a permitir uma medida mais intuitiva de comparação.

Para cada par de variáveis independentes, estimou-se um modelo baseado em mínimos quadrados ordinários empilhados (MQOE) e outro modelo baseado em efeitos fixos (EF). Intuitivamente, o modelo de mínimos quadrados trata cada par indivíduo-tempo como uma unidade independente na amostra. O modelo de EF, por sua vez, controla o efeito de possíveis heterogeneidades individuais ao normalizar o valor de cada variável pela média do indivíduo ao qual está associado. A Tabela 6 contém os resultados das regressões estimadas. Em nenhuma delas as medidas referentes à estrutura instalada no município foram estatisticamente significantes. A potência da obra foi significativa nos dois modelos, sendo que o coeficiente estimado pelo MQOE teve magnitude superior ao estimado por EF. O indicador de dose da obra só foi estatisticamente significativo no modelo de MQOE, o que provavelmente decorre de que o modelo de EF controla o efeito do PIB *per capita* fixado no primeiro ano da obra.

Tabela 6. Resultados das estimações dos determinantes dos efeitos das usinas eólicas sobre as economias municipais (%)

Variável dependente: impacto no PIB <i>per capita</i>				
	Efeitos fixos	Mínimos quadrados ordinários empilhados	Efeitos fixos	Mínimos quadrados ordinários empilhados
Potência da obra	19,00** (8,80)	50,00*** (7,60)		
Potência instalada	-6,40 (8,20)	-18,00 (11,00)		
Dose da obra			10,00 (11,00)	25,00** (12,00)
Dose instalada			4,80 (8,00)	-6,20 (12,00)
Intercepto		8,20 (9,20)		28,00*** (10,00)
Observações	129	129	129	129
R2	0,05	0,28	0,02	0,04
R2 ajustado	0,03	0,27	0,01	0,04
Estatística F	2,40 (df = 2; 93)	24,00*** (df = 2; 126)	0,86 (df = 2; 93)	2,40* (df = 2; 126)

Fonte: Elaboração própria.

Nota: *p<0,1; **p<0,05; e ***p<0,01.

3. Considerações sobre a avaliação

3.1 Considerações do Departamento de Avaliação e Promoção da Efetividade do BNDES

O presente artigo procurou fazer uma análise de impacto da política de construção de usinas eólicas sobre o PIB *per capita* dos municípios beneficiados. Para isso, foi realizada uma avaliação individual baseada em controle sintético para os municípios que receberam sua primeira usina eólica no período de 2008 a 2014. Depois disso, os resultados individuais foram compilados. Com base nos 34 casos aqui avaliados, foi possível observar impacto positivo dos parques eólicos sobre o PIB *per capita* dos municípios afetados, ainda que haja expressiva variabilidade. Os exercícios de avaliação concordaram em relação ao crescimento do efeito e aos anos em que se apresentou maior impacto positivo. Os efeitos, com mediana estimada entre 4,7% e 9,9%, foram mais claros entre dois e três anos depois do início da construção, que estão relacionados aos maiores parques instalados. Também se verificou maior dispersão de efeitos no terceiro ano, sinalizando possível esgotamento dos efeitos das obras de menor duração. A análise por regressões baseadas em modelos de EF e de MQOE destacou que o principal determinante dos efeitos é a magnitude da obra realizada, e não a estrutura instalada no município. Portanto, as evidências empíricas apontam para a hipótese de que o impacto das usinas sobre as economias locais vem da mobilização de recursos para as obras de instalação, e não do arrendamento das terras.

A metodologia aqui adotada é inovadora em relação às avaliações dos impactos locais das obras de usinas eólicas no Brasil.⁴ A estimação dos efeitos

⁴ Este trabalho integra uma iniciativa mais ampla, desenvolvida pelo Departamento de Avaliação e Promoção da Efetividade (DEAPE), da Área de Planejamento (AP) do BNDES, com o objetivo de dar escala a suas atividades de monitoramento e avaliação. O produto dessa iniciativa é a construção do Modelo Automatizado em R para Verificação de Impacto (MARVIm), uma metodologia de avaliação de efeitos de intervenções públicas de maneira automatizada. Para isso, combina uma série de *scripts* e funções em linguagem R que automatizam exercícios de avaliação quantitativa de impacto. O primeiro módulo do MARVIm foi voltado para métodos baseados em pareamento e diferenças-em-diferenças (GRIMALDI *et al.*, 2018), e o segundo, para avaliações baseadas em controle sintético (MARTINI *et al.*, 2018).

locais foi realizada por meio da metodologia de controle sintético. Esse método não apenas é mais consistente para avaliações com micronumerosidade de unidades tratadas, como também, ao contrário da literatura levantada, permitiu observar que os efeitos são diferentes ao longo do tempo depois da construção e em função da dose de tratamento. Os resultados verificados, quanto efeitos e também quanto à heterogeneidade entre as unidades avaliadas, são semelhantes àqueles observados por Assunção, Costa e Szerman (2016), em um estudo sobre efeitos locais da construção de usinas eólicas. Esse trabalho também verificou que os efeitos locais das obras, mensurados em indicadores de produção econômica e de mercado de trabalho, tendem a dissipar-se no quinto ano seguinte à construção. Essa constatação não pôde ser observada no presente trabalho em razão da indisponibilidade de dados, principalmente pelo fato de que as usinas eólicas são de construção relativamente mais recente, a partir de 2014. Todavia, as evidências empíricas aqui obtidas indicam que as obras têm efeitos econômicos superiores ao efeito do arrendamento de terras provenientes da potência instalada no município.

Destaca-se que, de acordo com os dados da Aneel (2017), o período de maior crescimento de usinas eólicas entrando em operação no Brasil foi a partir de 2014. O presente estudo investiga parques eólicos instalados até 2014, ou seja, conta com uma base de dados pequena e um curto período para análise. Não obstante, há municípios que só foram analisados apenas um ano depois do tratamento, por falta de dados na base municipal.

Portanto, conclui-se que a política de construção de usinas eólicas é bem-sucedida em seu objetivo principal, isto é, de diversificar a matriz energética brasileira, com ênfase em fontes limpas e renováveis, tendo em vista a aceleração dos empreendimentos no período mais recente. Contudo, em relação a seus efeitos econômicos locais, verificou-se impacto no PIB *per capita* dos municípios beneficiados no curto prazo, relacionado à etapa de construção dos parques e concentrado nas obras de maior porte. Os efeitos econômicos do arrendamento de terras ainda não estão claros pelas evidências empíricas. Por outro lado, cabe destacar o fato de que 78% dos

parques eólicos do Brasil se localizam na região Nordeste, sobretudo em municípios reconhecidamente pobres. Portanto, pode-se afirmar que até mesmo os efeitos das construções dos parques eólicos podem ser capazes de contribuir com melhorias econômicas para as populações locais.

3.2 Considerações do Departamento de Energia Elétrica 2 do BNDES

A presença do BNDES no apoio ao setor elétrico é relevante, tendo aprovado financiamentos a 640 projetos no setor entre 2003 e 2019. No segmento de geração, em especial, foram financiados 59,8 GW em projetos, enquanto os dados disponíveis na Aneel (2017) apontam para a contratação de 87 GW em nova capacidade nos leilões de energia desde 2005.

O Banco engajou-se, desde o princípio, no financiamento às fontes alternativas de energia, iniciadas no Brasil por meio do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa).⁵ O apoio do BNDES ajudou a viabilizar, com sucesso, a inserção da energia eólica na matriz elétrica brasileira. Como resultado, a fonte eólica hoje tem 15,1 GW instalados no país, dos quais o BNDES apoiou 13,6 GW. Ela se tornou a segunda principal fonte energética da matriz em capacidade instalada, atrás apenas das hidrelétricas.

O apoio do BNDES ao setor eólico é um caso de sucesso emblemático para o Banco, pois corrobora seu comprometimento com a promoção do desenvolvimento sustentável. Os resultados alcançados vão além da viabilização de uma fonte de energia inovadora, limpa e competitiva na matriz elétrica brasileira. O êxito na política de financiamento do Banco aos empreendimentos eólicos também foi atingido pelo desenvolvimento de uma cadeia de fornecedores diversificada, distribuída ao longo do território brasileiro, que atraiu mais de R\$ 1 bilhão em novos investimentos, gerando empregos de qualidade na indústria de aerogeradores e seus componentes.

⁵ Proinfa foi um programa de governo instituído pela Lei 10.438, de 26 de abril de 2002, que implantou 119 empreendimentos de geração por fontes renováveis, totalizando uma capacidade instalada de 2.649,87 MW, dos quais 963,99 MW em usinas eólicas, 1.152,54 MW em pequenas centrais hidrelétricas (PCH) e 533,34 MW em plantas de biomassa.

Do ponto de vista do entorno dos projetos, muitos também contaram com investimentos viabilizados pela Linha de Investimentos Sociais de Empresas (ISE), que contribuíram para catalisar ações complementares às obrigações legais determinadas pelo licenciamento ambiental dos empreendimentos. Mais de R\$ 150 milhões em projetos sociais foram viabilizados no Nordeste brasileiro, região que conta com a maior quantidade de parques eólicos implantados, em municípios com Índice de Desenvolvimento Humano (IDHM) concentrado entre baixo e médio.

Como conclusão, pode-se verificar que a efetividade e a sustentabilidade da atuação do BNDES no setor eólico foram alcançadas nas dimensões: (i) econômica, com o desenvolvimento de uma fonte energética competitiva e de uma cadeia de suprimentos local com possibilidade de inserção global; (ii) ambiental, graças ao fato de não haver emissões de gases de efeito estufa durante a operação dos projetos, nem outros impactos relevantes com a implantação; e (iii) social, ao gerar desenvolvimento e renda a localidades carentes do Brasil.

Referências

- ABADIE, A.; DIAMOND, A.; HAINMUELLER, J. Comparative politics and the synthetic control method. *American Journal of Political Science*, [s.l.], v. 59, n. 2, p. 495-510, 2015.
- ABADIE, A.; DIAMOND, A.; HAINMUELLER, J. Synth: An R Package for Synthetic Control Methods in Comparative Case Studies. *Journal of Statistical Software*, [s.l.], v. 42, n. 13, June 2011.
- ABADIE, A.; DIAMOND, A.; HAINMUELLER, J. Synthetic control methods for comparative case studies: Estimating the effect of California's tobacco control program. *Journal of the American Statistical Association*, [s.l.], v. 105, n. 490, p. 493-505, 2010.

- ABADIE, A.; GARDEAZABAL, J. The economic costs of conflict: A case study of the Basque Country. *The American Economic Review*, [s.l.], v. 93, n. 1, p. 113-132, 2003.
- ABEEÓLICA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA. *Dados Mensais*. São Paulo, fev. 2018.
- AIE – AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. *Renewable energy working party: renewable energy into the mainstream*. Sittard, Oct. 2002.
- AMARANTE, O.; ZACK, M.; SÁ, A. *Atlas do Potencial Eólico Brasileiro*. Brasília, DF: Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel), 2001.
- ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *Informações sobre os parques eólicos brasileiros*. Brasília, DF, 2017.
- ASSUNÇÃO, J.; COSTA, F.; SZERMAN, D. *Local Socioeconomic Impacts of Brazilian Hydroelectric Power Plants*. Rio de Janeiro: Climate Policy Initiative. 2016. Disponível em: https://www.inputbrasil.org/wp-content/uploads/2017/01/CPI__Estudo_Efeitos-Loais-de-hidreletricas_no_Brasil.pdf. Acesso em: 21 set. 2018.
- BCB – BANCO CENTRAL DO BRASIL. *Estatística Bancária Mensal por município (ESTBAN)*. [S.l.], 2015. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/acessoinformacao/legado?url=https:%2F%2Fwww4.bcb.gov.br%2Ffis%2Fcosif%2Festban.asp>. Acesso em: 22 ago. 2018.
- COSTA, R.; CASOTTI, B.; AZEVEDO, R. Um panorama da indústria de bens de capital relacionados à energia eólica. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, n. 29, p. 229-278, 2009.
- COSTA, R. C.; PRATES, C. P. T. O papel das fontes renováveis de energia no desenvolvimento do setor energético e barreiras à sua penetração no mercado. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, n. 21, p. 5-30, 2005.
- DATASUS – DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA DO SISTEMA ÚNICO DE SAÚDE. *Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (CNES)*. 2015a. Disponível em: <http://cnes.saude.gov.br/>. Acesso em: 22 ago. 2018.

DATASUS – DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA DO SISTEMA ÚNICO DE SAÚDE. *Sistema de Informações sobre Mortalidade (SIM)*. [Brasília, DF], 2015b. Disponível em:

<http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=060701>. Acesso em: 22 ago. 2018.

DEQUECH, D. Neoclassical, mainstream, orthodox, and heterodox economics. *Journal of Post Keynesian Economics*, [s.l.], v. 30(2), p. 279-302, Taylor & Francis Journals, 2007.

GRIMALDI, D. *et al. Uma solução automatizada para avaliações quantitativas de impacto: primeiros resultados do MARVIm*. Rio de Janeiro: BNDES, Out. 2018. (Textos para Discussão n. 128).

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Produto Interno Bruto dos Municípios 2002-2016*. [S.l.], 2016. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pib-munic/tabelas>. Acesso em: 22 ago. 2018.

INEP – INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA. *Censo do Ensino Superior*. Brasília, DF, 2014. Disponível em: <http://inep.gov.br/censo-da-educacao-superior>. Acesso em: 22 ago. 2018.

INEP – INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA. *Censo Escolar*. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <http://inep.gov.br/censo-escolar>. Acesso em: 22 ago. 2018.

KONZEN, E. *Penalizações tipo Lasso na seleção de covariáveis em séries temporais*. Dissertação (Mestrado em Economia) – Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2014.

LAGE, E. S.; PROCESSI, L. D. Panorama do setor de energia eólica. *Revista do BNDES*, Rio de Janeiro, n. 39, p. 183-205, 2013.

MARTINI, R. *et al. Uma solução automatizada para avaliações de impacto em estudos de caso: o Modelo Automatizado em R para Verificação de Impacto (MARVIm) – Módulo de Controle Sintético*. Rio de Janeiro: BNDES, out. 2018. (Textos para Discussão n. 130).

MTE – MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. *Relação Anual de Informações Sociais (Rais)*. [S.l.], 2015. Disponível em: <http://www.trabalho.gov.br/rais>. Acesso em: 22 ago. 2018.

RESENDE, B. C. M. *O efeito da implantação de usinas eólicas sobre o preço dos aluguéis*. Monografia (Graduação em Economia) – Departamento de Economia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

RINTZEL, L. T.; ALVES, T. W.; MASSUQUETTI, A. Análise dos impactos econômicos decorrentes da instalação dos parques eólicos nos municípios da Região Sul do Brasil. *In: XX ENCONTRO DE ECONOMIA DA REGIÃO SUL. Anais [...]* Porto Alegre: Associação Nacional dos Centros de Pós-Graduação em Economia (Anpec), jul. 2017.

RODRIGUES, T. P.; GONÇALVES, S. L.; CHAGAS, A. L. S. *Usinas eólicas e o mercado de trabalho nos municípios do Nordeste brasileiro*. *In: XLIV ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA. Anais [...]* Foz do Iguaçu: Associação Nacional dos Centros de Pós-Graduação em Economia (Anpec), dez. 2016.

SECEX – Secretaria de Comércio Exterior. *Estatísticas de Comércio Exterior*. Brasília, DF, 2016. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/comercio-exterior/estatisticas-de-comercio-exterior/>. Acesso em: 22 ago. 2018.

SIMAS, M. S. *Energia eólica e desenvolvimento sustentável no Brasil: estimativa da geração de empregos por meio de uma matriz insumo-produto ampliada*. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SNS – SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (Snis) – Série Histórica*. Brasília, DF, [2014]. Disponível em: <http://app4.cidades.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em: 22 ago. 2018.

STN – SECRETARIA DO TESOURO NACIONAL. *Sistema de Informações Contábeis e Fiscais do Setor Público Brasileiro – Siconfi*. Finanças do Brasil (FinBra). Brasília, DF, [2015]. Disponível em:

https://siconfi.tesouro.gov.br/siconfi/pages/public/consulta_finbra/finbra_list.jsf.

Acesso em: 22 ago. 2018.

TIBSHIRANI, R. Regression shrinkage and selection via the lasso. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Methodological)*, [s.l.], v. 58, p. 267-288, 1996.

ZHAO, P.; YU, B. On model selection consistency of Lasso. *The Journal of Machine Learning Research*, [s.l.], v. 7, p. 2.541-2.563, 2006.

ZOU, H. The adaptive lasso and its oracle properties. *Journal of the American Statistical Association*, [s.l.], v. 101, p. 1.418-1.429, 2006.

Apêndice

Resultados das estimações individuais de controle sintético

Tabela A1. Resultados das estimações individuais de controle sintético (%)

Município	t-3	t-2	t-1	t	t+1	t+2	t+3
Acaraú (CE)	0,00	0,00	0,00	-2,80	6,53	9,41	5,62
Amontada (CE)	5,53	-2,33	-3,55	1,84	-4,10	2,23	7,91
Aracati (CE)	3,69	-3,59	-1,23	-9,00	-8,48	-7,22	-0,34
Areia Branca (RN)	-6,79	-13,14	-16,43	-16,16	-6,46	-17,61	-27,32
Barra dos Coqueiros (SE)	0,00	0,00	0,00	-8,72	-11,44	-9,80	-19,97
Beberibe (CE)	0,00	0,00	0,00	-0,15	18,24	16,71	15,68
Boituva (SP)	0,00	0,00	0,00	0,78	9,34	12,94	18,79
Brotas de Macaúbas (BA)	-4,11	9,12	-4,50	-1,39	6,52	-6,88	-8,31
Cabo de Santo Agostinho (PE)	0,08	0,42	0,02	-5,63	-0,78	12,82	11,03
Caetité (BA)	-0,65	1,92	-0,49	-1,70	32,01	44,68	N/D
Camocim (CE)	4,99	-5,25	-8,54	-4,21	-4,76	5,56	-1,11
Cururupu (MA)	-3,65	-2,34	-1,35	2,97	-2,60	9,32	7,73
Galinhas (RN)	13,54	-16,84	-28,12	-9,57	-30,42	-10,95	N/D
Guamaré (RN)	-2,28	-2,17	-1,45	3,05	8,97	13,98	5,63
Guanambi (BA)	1,86	3,77	17,28	20,73	35,54	-58,11	-102,57
Igaporã (BA)	-2,45	2,28	3,54	4,55	8,39	13,64	N/D
Itarema (CE)	1,57	3,97	8,55	6,85	122,18	84,10	N/D

Iturama (MG)	4,37	2,81	-4,63	24,47	29,05	26,93	N/D
João Câmara (RN)	-7,80	-11,10	-6,62	11,46	25,97	22,34	-0,87
Macaparana (PE)	-4,55	2,80	2,32	4,30	33,29	73,93	71,00
Mataraca (PB)	0,00	0,00	0,00	0,93	0,48	-4,62	3,30
Palmares do Sul (RS)	-0,31	-2,92	-0,25	-4,51	-7,49	-25,19	-20,35
Paracuru (CE)	-3,23	2,22	-1,31	4,93	22,77	4,09	7,11
Parazinho (RN)	-75,69	-32,54	114,68	30,32	70,51	45,84	N/D
Parnaíba (PI)	0,00	0,00	0,00	-5,65	-6,72	-0,47	5,56
Pedra Grande (RN)	2,49	10,23	16,33	26,08	13,13	338,07	N/D
Pelotas (RS)	-0,66	4,77	2,68	-5,68	-2,57	1,50	N/D
Pombos (PE)	4,25	1,19	-1,13	9,58	7,73	12,32	8,68
Sant'Ana do Livramento (RS)	-0,16	5,17	-2,87	9,86	11,87	9,32	8,81
São Francisco de Itabapoana (RJ)	2,10	-3,59	2,54	12,05	10,85	8,09	80,40
São Miguel do Gostoso (RN)	-0,77	1,74	-2,86	-1,27	15,35	84,36	N/D
Sento Sé (BA)	0,57	1,83	-7,56	-0,08	-12,10	14,73	12,63
Sobradinho (BA)	-5,68	2,51	-1,37	-0,79	-3,77	-27,25	-24,22
Trairi (CE)	-9,71	-7,33	-3,63	5,75	26,84	34,02	16,10
Tramandaí (RS)	1,76	1,15	-4,06	7,07	3,82	7,10	16,29
Tubarão (SC)	0,00	0,00	0,00	1,36	14,15	6,64	N/D
Xangri-lá (RS)	-2,36	-2,67	1,04	-0,01	4,42	12,67	N/D

Fonte: Elaboração própria.

Nota: N/D: não disponível.

SETEMBRO 2019

www.bndes.gov.br/efetividade